



无机化学学习指导

(第二版)

福建师范大学
河北师范大学
辽宁师范大学
宁德师范学院

合编

高等教育出版社

061-44
2F1-2

ISBN 978-7-04-051405-6



9 787040 514056 >

定价 48.00元

无机化学学习指导

(第二版)

福建师范大学
河北师范大学
辽宁师范大学
宁德师范学院

合编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是福建师范大学、河北师范大学、辽宁师范大学合编的《无机化学》(第三版,上、下册)的配套参考书,各章顺序与教材同步。每章由主要内容概述、例题、自测题、自测题参考答案,以及习题解答组成。扫描书后二维码即可查看附录中《无机化学》上册和下册各两套试题,供学生综合练习之用。

本书是高等师范院校化学类专业本科生学习无机化学的参考书,也可供中学教师及化学工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学学习指导 / 福建师范大学等合编. -- 2 版

. -- 北京:高等教育出版社,2019.6

ISBN 978-7-04-051405-6

I. ①无… II. ①福… III. ①无机化学-高等学校-教学参考资料 IV. ①O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 035112 号

WUJIHUAXUE XUEXIZHIDAO

策划编辑	曹 瑛	责任编辑	鲍浩波	封面设计	于文燕	版式设计	童 丹
插图绘制	于 博	责任校对	陈 杨	责任印制	刁 毅		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京佳顺印务有限公司
开 本 787mm × 960mm 1/16
印 张 32.75
字 数 600 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2006 年 12 月第 1 版
2019 年 6 月第 2 版
印 次 2019 年 6 月第 1 次印刷
定 价 48.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 51405-00

目 录

第 1 章 物质的聚集态	1
一、主要内容概述	1
二、例题	4
三、自测题	7
四、自测题参考答案	11
五、习题解答	14
第 2 章 化学热力学基础与化学平衡	20
一、主要内容概述	20
二、例题	25
三、自测题	35
四、自测题参考答案	45
五、习题解答	56
第 3 章 化学动力学初步	64
一、主要内容概述	64
二、例题	66
三、自测题	74
四、自测题参考答案	78
五、习题解答	83
第 4 章 酸碱解离平衡与沉淀溶解平衡	90
一、主要内容概述	90
二、例题	95
三、自测题	106

四、自测题参考答案	110
五、习题解答	115
第 5 章 原子结构和元素周期律	125
一、主要内容概述	125
二、例题	132
三、自测题	135
四、自测题参考答案	140
五、习题解答	142
第 6 章 化学键与分子结构	150
一、主要内容概述	150
二、例题	156
三、自测题	162
四、自测题参考答案	169
五、习题解答	176
第 7 章 晶体结构	188
一、主要内容概述	188
二、例题	190
三、自测题	196
四、自测题参考答案	199
五、习题解答	200
第 8 章 电化学初步	208
一、主要内容概述	208
二、例题	211
三、自测题	217
四、自测题参考答案	221
五、习题解答	225

第 9 章 配位化合物	236
一、主要内容概述	236
二、例题	240
三、自测题	247
四、自测题参考答案	254
五、习题解答	260
第 10 章 元素化学引论	270
一、主要内容概述	270
二、例题	272
三、自测题	275
四、自测题参考答案	277
五、习题解答	278
第 11 章 氢和稀有气体	282
一、主要内容概述	282
二、例题	284
三、自测题	286
四、自测题参考答案	287
五、习题解答	288
第 12 章 卤素	290
一、主要内容概述	290
二、例题	291
三、自测题	295
四、自测题参考答案	298
五、习题解答	302
第 13 章 氧族元素	306
一、主要内容概述	306
二、例题	308

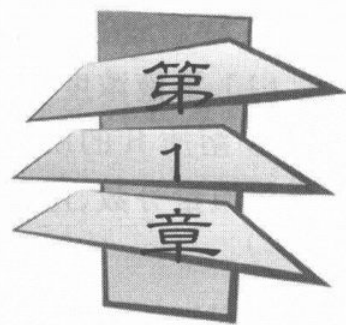
三、自测题	312	
四、自测题参考答案	315	
五、习题解答	319	
第 14 章 氮族元素		327
一、主要内容概述	327	
二、例题	331	
三、自测题	336	
四、自测题参考答案	340	
五、习题解答	343	
第 15 章 碳族元素		350
一、主要内容概述	350	
二、例题	353	
三、自测题	357	
四、自测题参考答案	360	
五、习题解答	363	
第 16 章 硼族元素		371
一、主要内容概述	371	
二、例题	373	
三、自测题	376	
四、自测题参考答案	382	
五、习题解答	385	
第 17 章 碱金属和碱土金属元素		391
一、主要内容概述	391	
二、例题	394	
三、自测题	399	
四、自测题参考答案	402	
五、习题解答	406	

第 18 章 铜族元素 锌族元素	414
一、主要内容概述	414
二、例题	416
三、自测题	420
四、自测题参考答案	426
五、习题解答	431
第 19 章 过渡元素(一)	439
一、主要内容概述	439
二、例题	442
三、自测题	444
四、自测题参考答案	450
五、习题解答	454
第 20 章 过渡元素(二)	462
一、主要内容概述	462
二、例题	465
三、自测题	470
四、自测题参考答案	476
五、习题解答	481
第 21 章 镧系元素和锕系元素	492
一、主要内容概述	492
二、例题	493
三、自测题	495
四、自测题参考答案	496
五、习题解答	497
第 22 章 核化学	503
一、主要内容概述	503

二、例题	504
三、自测题	507
四、自测题参考答案	508
五、习题解答	510

附录	513
----	-----

附录 1:《无机化学》(上册)试卷(A)及参考答案	513
附录 2:《无机化学》(上册)试卷(B)及参考答案	513
附录 3:《无机化学》(下册)试卷(A)及参考答案	513
附录 4:《无机化学》(下册)试卷(B)及参考答案	513



物质的聚集态

一、主要内容概述

1. 理想气体定律

理想气体是人为假定的一种气体模型,它是指忽略气体分子本身的体积、分子间的相互作用力,分子之间及分子与器壁之间的碰撞是完全弹性碰撞的气体。高温低压下的实际气体接近理想气体。

(1) 理想气体状态方程

$$pV = nRT \quad (1-1)$$

将 $n = \frac{m}{M}$ 及 $\rho = \frac{m}{V}$ 代入理想气体状态方程(1-1),则

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{\rho RT}{p} \quad (1-2)$$

读者应根据实际情况,熟练掌握并灵活应用上述表达形式。在使用摩尔气体常数时,必须注意 p 、 V 的单位与 R 值的对应关系。

(2) 混合气体的分压定律 一定温度下的混合气体,物质的量为 n_i 的任一

组分气体 i , 其分压为 p_i , $p_i = \frac{n_i RT}{V_{\text{总}}}$, $p_{\text{总}} = \sum p_i$ 。当然,也有分体积 V_i , $V_i = \frac{n_i RT}{p_{\text{总}}}$,

$V_{\text{总}} = \sum V_i$, 并且有 $x_i = \frac{n_i}{n_{\text{总}}} = \frac{V_i}{V_{\text{总}}} = \frac{p_i}{p_{\text{总}}}$, x_i 为组分气体 i 的摩尔分数。

(3) 气体扩散定律 若以 u 表示扩散速度, ρ 表示密度, 则两种气体 A 和 B 的扩散速度与它们的密度和相对分子质量 M_r 的关系为

$$\frac{u_A}{u_B} = \sqrt{\frac{\rho_B}{\rho_A}} = \sqrt{\frac{M_{r,B}}{M_{r,A}}} \quad (1-3)$$

2. 稀溶液的依数性

(1) 溶液浓度的表示方法

① 溶质 B 的质量分数 溶质 B 的质量(m_B)与溶液的质量(m)之比称为该溶质的质量分数,用符号 w_B 表示,量纲为 1,常用百分数表示:

$$w_B = \frac{m_B}{m} \times 100\% \quad (1-4)$$

② 物质的量分数(摩尔分数) 溶质的物质的量与溶质和溶剂总的物质的量之比称为该溶质的摩尔分数,用符号 x_B 表示,量纲为 1。如果溶剂的物质的量为 n_A ,溶质的物质的量为 n_B ,则溶质的物质的量分数为

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad (1-5)$$

③ 物质的量浓度(c_B) 物质的量浓度,简称浓度,它是用溶质 B 的物质的量(n_B)除以溶液的体积(V)来表示的,符号为 c_B ,SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$,也常用 $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 或 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (1-6)$$

④ 质量摩尔浓度(b_B) 溶质 B 的物质的量(n_B)除以溶剂的质量(m_A),叫作溶质 B 的质量摩尔浓度,用符号 b_B 表示。SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} \quad (1-7)$$

(2) 难挥发非电解质稀溶液的依数性

溶质可以根据它们水溶液的导电性分为电解质溶液和非电解质溶液。难挥发非电解质稀溶液的依数性是指溶液的一些性质与其中所含溶质粒子的数目有关,而与溶质本身的性质无关。难挥发非电解质稀溶液的依数性分别可以用溶液的蒸气压下降公式(拉乌尔定律)、沸点升高公式、凝固点降低公式和渗透压的范特霍夫方程等进行定量描述。在化学中常用依数性测定分子的摩尔质量。

① 蒸气压下降 饱和蒸气压是指密闭容器中液体凝聚和蒸发平衡时的饱和蒸气所产生的压力,简称蒸气压。对于单一组分的液体而言,其蒸气压只与液体的种类和温度有关,而与液体的质量、体积及液面上方空间的体积无关。

1887 年,法国化学家拉乌尔根据实验结果总结出:在一定的温度下,难挥发非电解质稀溶液的蒸气压 p_A 等于纯溶剂的蒸气压 p_A^* 与溶液中溶剂的摩尔分数 x_A 的乘积。这就是拉乌尔定律,其数学表达式为

$$p_A = p_A^* \cdot x_A \quad (1-8)$$

如果溶液中只有溶剂 A 和溶质 B 两种物质, 溶质 B 的摩尔分数为 x_B , 则拉乌尔定律有另一种表达形式:

$$\Delta p_A = p_A^* \cdot x_B \quad (1-9)$$

它表示, 在一定温度下, 难挥发非电解质稀溶液饱和蒸气压的下降值与溶质的摩尔分数成正比。

② 沸点升高 沸点是指液体的饱和蒸气压和外界压力相等时的温度, 这时液体呈现沸腾状态。实验表明, 难挥发非电解质稀溶液的沸点升高值 ΔT_b 与溶液中溶质的质量摩尔浓度 b_B 成正比, 而与溶质的性质无关, 其数学表达式为

$$\Delta T_b = K_b \cdot b_B \quad (1-10)$$

式中 K_b 是溶剂的摩尔沸点升高常数, 即溶质的质量摩尔浓度为 $1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时溶液沸点升高的数值。

③ 凝固点降低 溶液的凝固点是指固态纯溶剂与液态溶液平衡时的温度, 此时析出的固体完全是溶剂而不含溶质。实验表明, 难挥发非电解质稀溶液的凝固点下降值 ΔT_f 与溶液中溶质的质量摩尔浓度 b_B 成正比, 而与溶质的性质无关, 其数学表达式为

$$\Delta T_f = K_f \cdot b_B \quad (1-11)$$

式中, K_f 是溶剂的摩尔凝固点降低常数, 即溶质的质量摩尔浓度为 $1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时溶液凝固点降低的数值。

④ 渗透压 半透膜的特性是只允许溶剂分子通过而不允许溶质分子透过。这种溶剂分子通过半透膜的单方向的扩散现象叫渗透。由于溶剂的蒸气压比溶液的蒸气压高, 纯溶剂通过半透膜进入溶液的分子数比溶液中溶剂通过半透膜进入纯溶剂的分子数要多些, 最后会达到渗透平衡。为了阻止渗透进行, 必须对溶液的上方施加压力, 把阻止渗透作用而施加于溶液的压力, 称为溶液的渗透压。

1886 年荷兰物理学家范特霍夫证明, 稀溶液渗透压 Π 与溶液的浓度和温度之间的关系类似于理想气体状态方程, 即

$$\Pi V = n_B RT \quad (1-12)$$

或
$$\Pi = c_B RT \quad (1-13)$$

式中, V 是溶液体积, n_B 是溶质物质的量 (mol), c_B 是溶液的浓度 ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$), R 是摩尔气体常数, T 是热力学温度。由于渗透压的单位是 Pa, 所以摩尔气体常数 $R = 8\,314 \text{ Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。从上式可以看出, 难挥发非电解质稀溶液的渗透压与溶液的浓度成正比, 而与溶质的本性无关。

二、例 题

1. 实验室中用排水集气法制取氢气, 在 $23\text{ }^\circ\text{C}$ 、 100 kPa 下, 收集了 370 mL 气体。试求:

(1) $23\text{ }^\circ\text{C}$ 时该气体中氢气的分压;

(2) 氢气的物质的量 (mol);

(3) 若在收集氢气之前, 集气瓶中已有氮气 20 mL , 氢气收集完后气体的总体积为 390 mL , 问此时收集的氢气的分压是多少? 氢气的物质的量又是多少? 已知 $23\text{ }^\circ\text{C}$ 时水的饱和蒸气压为 2.8 kPa 。

解题思路: 注意排水法收集的氢气包含氢气和水蒸气, 已知气体的总压和水的饱和蒸气压可求得氢气的分压; 再利用 $p_i V_T = n_i RT$ 计算氢气的物质的量; 当组分气体是氮气、氢气和水蒸气时同理可求得氢气的分压和氢气的物质的量。

解: (1) 因为在水面上收集氢气, 所以 $p_{\text{总}} = p(\text{H}_2) + p(\text{H}_2\text{O})$, 因此氢气的分压 $p(\text{H}_2)$:

$$p(\text{H}_2) = (100 - 2.8)\text{ kPa} = 97.2\text{ kPa}$$

(2) 氢气的物质的量为

$$\begin{aligned} n(\text{H}_2) &= \frac{p(\text{H}_2)V}{RT} \\ &= \frac{97.2 \times 10^3 \times 370 \times 10^{-6}}{8.314 \times (23 + 273.15)} \text{ mol} = 0.015\text{ mol} \end{aligned}$$

(3) 因为在收集过程中, 氮气保持恒温, 因此物质的量一定的氮气, 存在 $p_1 V_1 = p_2 V_2$, 在 390 cm^3 混合气体中, 氮气的分压为

$$p(\text{N}_2) = \frac{100 \times 20}{390} \text{ kPa} = 5.1\text{ kPa}$$

水蒸气的分压为

$$p(\text{H}_2\text{O}) = 2.8\text{ kPa}$$

氢气的分压为

$$\begin{aligned} p(\text{H}_2) &= p_{\text{总}} - p(\text{N}_2) - p(\text{H}_2\text{O}) \\ &= (100 - 5.1 - 2.8)\text{ kPa} = 92.1\text{ kPa} \end{aligned}$$

氢气的物质的量为

$$\begin{aligned} n(\text{H}_2) &= \frac{p(\text{H}_2)V}{RT} \\ &= \frac{92.1 \times 10^3 \times 390 \times 10^{-6}}{8.314 \times (23 + 273.15)} \text{ mol} = 0.015 \text{ mol} \end{aligned}$$

2. 相对湿度定义为某一温度时,空气中水蒸气之分压与同温度饱和水蒸气压之比,试计算(1) 303 K 与 100% 相对湿度时;(2) 323 K 与 80% 相对湿度时,每升空气中含水蒸气之质量。已知 303 K 和 323 K 时水的饱和水蒸气压 p_1^* 和 p_2^* 分别为 4.25 kPa 和 12.34 kPa。

解题思路:明确相对湿度概念,由理想气体状态方程 $pV = nRT$ 可推得 $pV = \frac{m}{M}RT$,进而求得不同相对湿度时每升空气中含水蒸气之质量。

解:由 $pV = \frac{m}{M}RT$ 得 $m = \frac{pVM}{RT}$ 。

303 K 时, $p_1 = 1.0 \times p_1^* = 1.0 \times 4.25 \text{ kPa} = 4.25 \text{ kPa}$

$$m_1 = \frac{p_1 VM}{RT_1} = \frac{4.25 \times 10^3 \text{ Pa} \times 1.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 18.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 303 \text{ K}} = 0.0304 \text{ g}$$

323 K 时, $p_2 = 0.80 p_2^* = 0.80 \times 12.34 \text{ kPa} = 9.872 \text{ kPa}$

$$m_2 = \frac{p_2 VM}{RT_2} = \frac{9.872 \times 10^3 \text{ Pa} \times 1.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 18.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 323 \text{ K}} = 0.0662 \text{ g}$$

3. 稀有气体氙能与氟形成多种氟化氙(XeF_x)。实验测得在 353 K、 $1.56 \times 10^4 \text{ Pa}$ 时,某气态氟化氙的密度为 $0.899 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。试确定这种氟化氙的化学式。

解题思路:由理想气体状态方程 $pV = nRT$ 可推得 $M = \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{p} = \rho \cdot \frac{RT}{p}$,再结合 Xe 和 F 相对原子质量可以确定氟化氙的化学式。

解:由理想气体状态方程

$$\begin{aligned} M &= \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{p} = \rho \cdot \frac{RT}{p} \\ &= 0.899 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times \frac{8.314 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 353 \text{ K}}{1.56 \times 10^4 \text{ Pa}} \\ &= 169 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

依题意: $131 + 19x = 169$

解得 $x = 2$, 所以氟化氙的化学式为 XeF_2 。

4. 将 1 体积氮气和 3 体积氢气的混合物放入容积不变的反应器中, 在总压力为 $1.42 \times 10^6 \text{ Pa}$ 的压力下开始反应, 当原料气有 9% 反应时, 各组分的分压和混合气的总压各为多少?

解题思路: 先求反应前氮气和氢气的分压。再综合考虑反应后氮气和氢气的减少量及生成氨的物质的量的化学计量关系。

解: 先求反应前氮气和氢气的分压。已知:

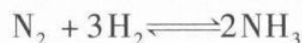
$$x(\text{N}_2) = \frac{1}{1+3} \quad x(\text{H}_2) = \frac{3}{1+3} \quad p_{\text{总}} = 1.42 \times 10^6 \text{ Pa}$$

故各自的分压为

$$p(\text{N}_2) = 1.42 \times 10^6 \times \frac{1}{1+3} \text{ Pa} = 3.55 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$p(\text{H}_2) = 1.42 \times 10^6 \times \frac{3}{1+3} \text{ Pa} = 1.065 \times 10^6 \text{ Pa}$$

N_2 和 H_2 在反应前的体积比等于其物质的量之比为 1:3, 且在反应方程式中的化学计量数之比也是 1:3:



在反应后, 氮气和氢气都有 9% 参加反应。故它们的分压比反应前都减小 9%。因此, 反应后两者的分压分别为

$$p(\text{N}_2) = 3.55 \times 10^5 \times (1 - 9\%) \text{ Pa} = 3.23 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$p(\text{H}_2) = 1.065 \times 10^6 \times (1 - 9\%) \text{ Pa} = 9.69 \times 10^5 \text{ Pa}$$

由反应方程式可知, 生成氨的物质的量是消耗的氮气的物质的量的 2 倍。因此, 生成的氨的分压为氮气分压减小值的 2 倍。即

$$p(\text{NH}_3) = 2 \times (3.55 - 3.23) \times 10^5 \text{ Pa} = 6.40 \times 10^4 \text{ Pa}$$

因此, 混合气体的总压力:

$$\begin{aligned} p_{\text{总}} &= p(\text{N}_2) + p(\text{H}_2) + p(\text{NH}_3) \\ &= (3.23 + 9.69 + 0.64) \times 10^5 \text{ Pa} \\ &= 1.36 \times 10^6 \text{ Pa} \end{aligned}$$

5. 将氨气和氯化氢分别置于一根 120 cm 长的玻璃管的两端, 并使其自由扩散。试问两气体在玻璃管的什么地方相遇而生成白烟?

解题思路:练习使用公式 $\frac{u_A}{u_B} = \sqrt{\frac{M_{r,B}}{M_{r,A}}}$ 。

解:设 t 时刻,在距离氨气的管口 x cm 处相遇。

$$\sqrt{\frac{M_r(\text{HCl})}{M_r(\text{NH}_3)}} = \frac{u(\text{NH}_3)}{u(\text{HCl})} = \frac{x/t}{(120-x)/t} = \frac{x}{120-x}$$

将 $M_r(\text{HCl}) = 36.45$ 、 $M_r(\text{NH}_3) = 17.0$ 代入得

$$x = 71.3$$

6. 已知烟草中的有害成分尼古丁的实验式是 $\text{C}_5\text{H}_7\text{N}$, 将 539 mg 尼古丁溶于 10.0 g 水中, 所得溶液在 10^5 Pa 下沸点为 100.17°C , 求尼古丁的分子式。已知 $K_b = 0.512 \text{ kg} \cdot \text{K} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

解题思路:练习使用公式 $\Delta T_b = K_b \cdot b_B$ 。

解: $\Delta T_b = 100.17^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C} = 0.17^\circ\text{C} = 0.17 \text{ K}$

$$\Delta T_b = K_b \cdot b_B$$

$$b_B = \frac{\Delta T_b}{K_b} = 0.332 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

尼古丁摩尔质量为 M , 则

$$b_B = \frac{0.539 \text{ g}}{M} \times \frac{1}{10.0 \times 10^{-3} \text{ kg}}$$

解得 $M = 162 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 所以尼古丁的分子式为 $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2$ 。

三、自测题

1. 选择题

1-1 某混合理想气体, 组分 i 的物质的量、分压和分体积分别用 n_i 、 p_i 及 V_i 表示, 则下列关系式 (p_T 代表总压, V_T 代表总体积) 正确的是 ()

(A) $p_i V_i = n_i RT$ (B) $p_i V_T = n_i RT$ (C) $p_T V_T = n_i RT$ (D) $p_T V_i = n_i RT$

1-2 下列各不同质量气体的混合物中, 分压最大的是 ()

(A) 2.0 g He (B) 2.0 g N_2 (C) 0.2 g H_2 (D) 11.0 g CO_2

1-3 同温同压下, 混合气体中某组分气体的物质的量分数与体积分数在数值上的关系是 ()

(A) 成正比 (B) 相等